

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

**Использование CAE-системы ANSYS FLUENT для расчета процесса
теплопередачи радиоэлектронных элементов**

САМАРА 2014

УДК 621.036.7

Составители: Горшкалёв Алексей Александрович
Угланов Дмитрий Александрович

Исследование теплового режима радиоэлектронного устройства с помощью САЕ-системы ANSYS FLUENT [Электронный ресурс] : электрон. метод. указания к лаб. работе / Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т); сост. А. А. Горшкалев, Д. А. Угланов; - Электрон. текстовые и граф. дан. (8,65 Мбайт). - Самара, 2014. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM)

В электронных методических указаниях показаны особенности использования программного пакета «ANSYS Fluent» для моделирования теплового режима радиоэлектронного устройства.

Подготовлено на кафедре теплотехники и тепловых двигателей

© Самарский государственный
аэрокосмический университет 2014

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Методика построения трехмерной сеточной модели с использованием программной платформы ANSYS Workbench.....	5
1.1 Подготовка трехмерной модели.....	5
1.2 Построение трехмерной сеточной модели расчетной области	11
2 Запуск программы Fluent и ее особенности	15
2.1 Проверка конечно-элементной сетки на наличие ошибок.....	16
2.2 Просмотр конечно-элементной сетки	17
2.3 Задание опций решателя.....	17
2.4 Учет в расчете уравнения энергии.....	19
2.5 Определение модели течения.....	19
2.6 Задание свойств материалов.....	20
2.7 Задание справочного давления и силы тяжести.....	23
2.8 Задание граничных зон	24
2.9 Задание граничных условий	25
2.10 Настройка зон пересечения сетки.....	28
2.11 Установка начальных значений параметров	29
2.12 Настройка отображения процесса решения.....	30
2.13 Сохранение расчетной модели.....	32
2.14 Запуск решения.....	33
2.15 Создание поверхностей сечений расчетной модели.....	34
2.16 Визуализация полей распределения параметров в расчетной области	35
Заключение	38

ВВЕДЕНИЕ

Данное методическое пособие позволит смоделировать шаг за шагом процесс конвективного теплообмена в радиоэлектронной аппаратуре с помощью САЕ-системы *Ansys Fluent*. В установившемся состоянии моделируется состояние радиоэлектронного элемента (резистора) в условиях естественной конвекции. Целью моделирования является определение с помощью САЕ-систем распределения температур.

Данный модуль позволит подробно изучить следующие особенности работы в САЕ-системе *Ansys Fluent*:

- Создание сеточной модели.
- Настройка свойств модели.
- Описание физики процессов.
- Установка граничных условий.
- Установка начальных условий.
- Выбор параметров решателя.
- Визуализация результатов расчетов.
- Проверка сходимости решения.

Цель работы: моделирование процесса естественной конвекции радиоэлектронного элемента (резистора) в установившемся состоянии.

В качестве примера использования программного пакета ANSYS Fluent для решения задачи теплообмена элементов радиоаппаратуры будет рассмотрена задача теплообмена резистора навесного монтажа с мощностью тепловыделения 0,5 Вт. Для этого с использованием САД редактора *SolidWorks* была построена трехмерная модель состоящая из резистора 1, платы 2 и окружающего воздуха 3 (рисунок 1).

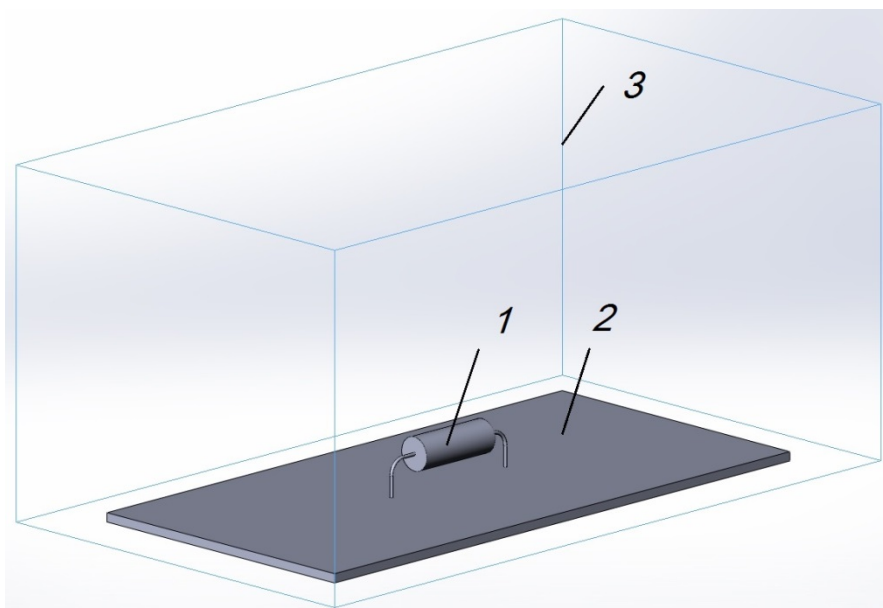


Рисунок 1 - трехмерная расчетная модель.

1 МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ТРЕХМЕРНОЙ СЕТОЧНОЙ МОДЕЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОЙ ПЛАТФОРМЫ ANSYS WORKBENCH

1.1 Подготовка трехмерной модели

Любое инженерное моделирование начинается с геометрии. На данный момент ANSYS в своем составе имеет интегрированный САД редактор- *ANSYS Design Modeler*. *Design Modeler* - универсальный САД-редактор с широким набором инструментов для создания новой геометрии, а также для разбиения и упрощения импортированной геометрии. Данный модуль в своей основе имеет

ядро *Parasolid®*, обладает надежным, отказоустойчивым генератором геометрии и соответствует производственным стандартам. *ANSYS Design Modeler* позволяет создавать и параметризовать геометрию на основе двухмерных эскизов или встроенных примитивов, а также выполнять последующие операции редактирования. Весь ход моделирования отображается в древовидной истории проекта, что позволяет изменять первоначальные параметры в любой момент создания геометрии.

Запуск программной платформы *ANSYS Workbench* осуществляется нажатием на соответствующий ярлык на рабочем столе или из меню «Пуск» ОС «Windows». В результате откроется рабочее окно проекта (рисунок 1.1). Далее необходимо переместить желаемый тип анализа (в данном случае “*Fluid Flow (FLUENT)*”) из панели инструментов *Toolbox Component Systems* в схему проекта *Project Schematic*. После выполнения этой операции в окне *Project Schematic* появится проект “*Fluid Flow (FLUENT)*”. Меню проекта показано на рисунке 1.2. Запуск программы *Design Modeler* осуществляется командой “*Geometry*” в схеме проекта.

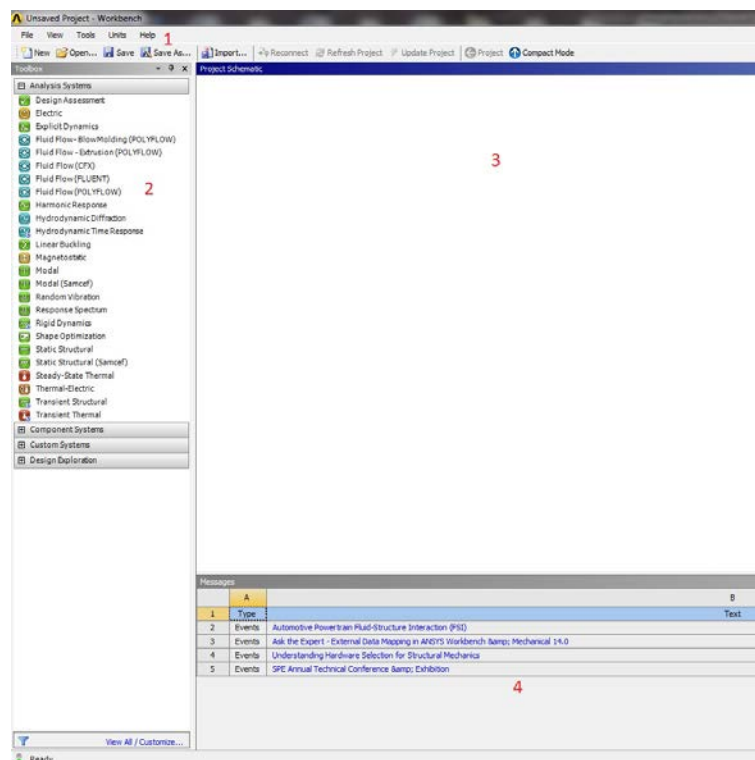


Рисунок 1.1 - Рабочее окно программной платформы *ANSYS Workbench*:
1 – главное меню программы; 2 – панель инструментов; 3 – рабочая область; 4 – окно сообщений

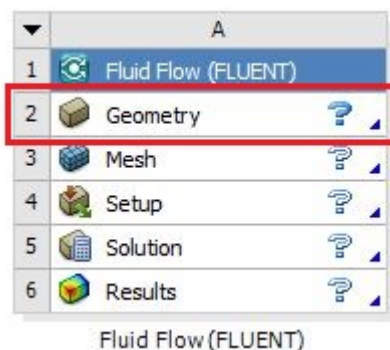


Рисунок 1.2 – Меню “*Fluid Flow (FLUENT)*” в рабочей области программы

При запуске программы необходимо в появившемся окне (рисунок 1.3) выбрать размерность, в которой будут производиться расчеты. в рассматриваемом случае выбираются миллиметры, и подтверждается выбор нажатием “*OK*”.

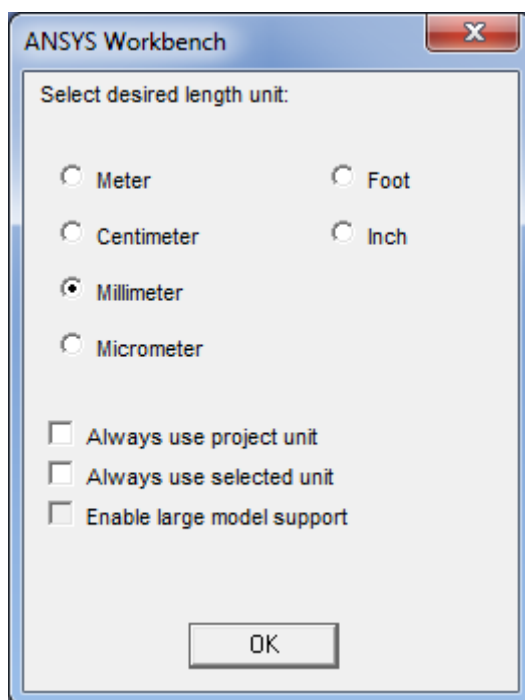


Рисунок 1.3 – Окно выбора размерности модели

Далее необходимо перейти в меню “*File – Import External Geometry File...*” (рисунок 1.4) и выбирать сохраненную ранее твердотельную модель Parasolid. После этого в древе модели появится пункт “*Import1*” на который нужно нажать правой кнопкой мыши и в появившемся списке выбрать “*Generate*”(рисунок 1.5). Импортированная модель показана на рисунке 1.6.

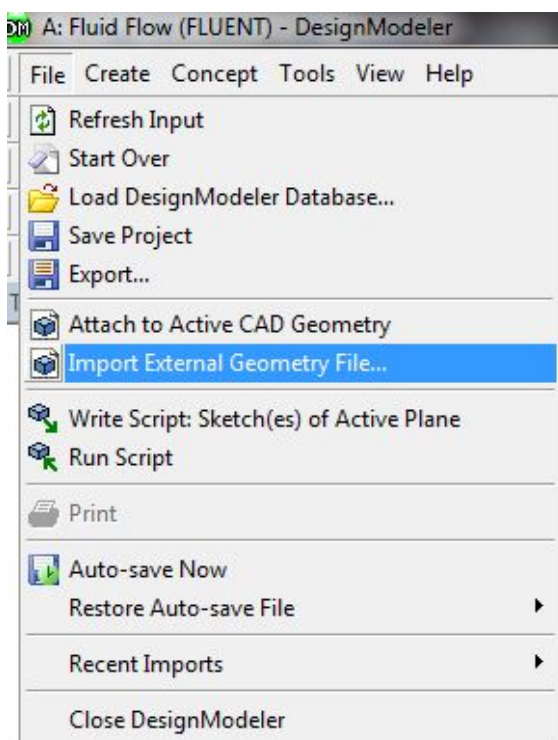


Рисунок 1.4 – Импорт твердотельной модели *Parasolid*

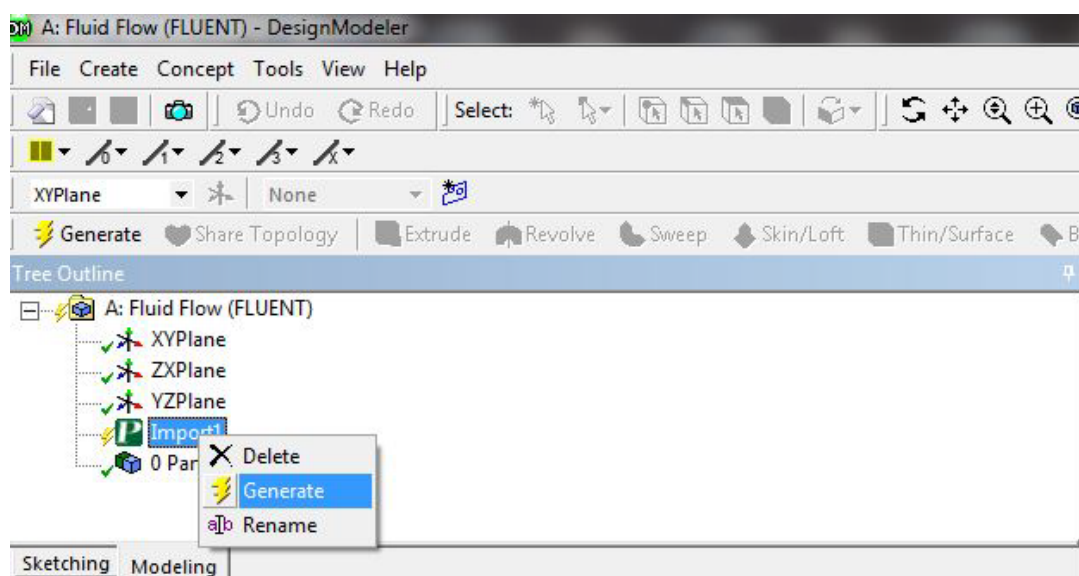


Рисунок 1.5 – Генерация модели из файла *Parasolid* (*.x_t)

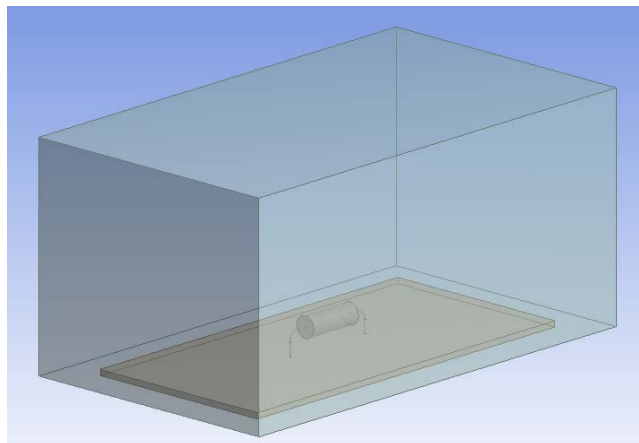


Рисунок 1.6 – Импортированная трехмерная модель

Для того чтобы скрыть или отобразить элементы модели, нужно в древе модели нажать правой кнопкой на элемент, который нужно скрыть, и выбрать пункт “*Hide Body*” (“*Show Body*”, если элемент нужно отобразить).

Для создания сеточной модели резистора и участка окружающего воздуха необходимо вырезать объем резистора из объема окружающего воздуха при помощи булевых операций. Вычитание объемов осуществляется при помощи команды “*Tools – Enclosure*” в главном меню программы (рисунок 1.7).

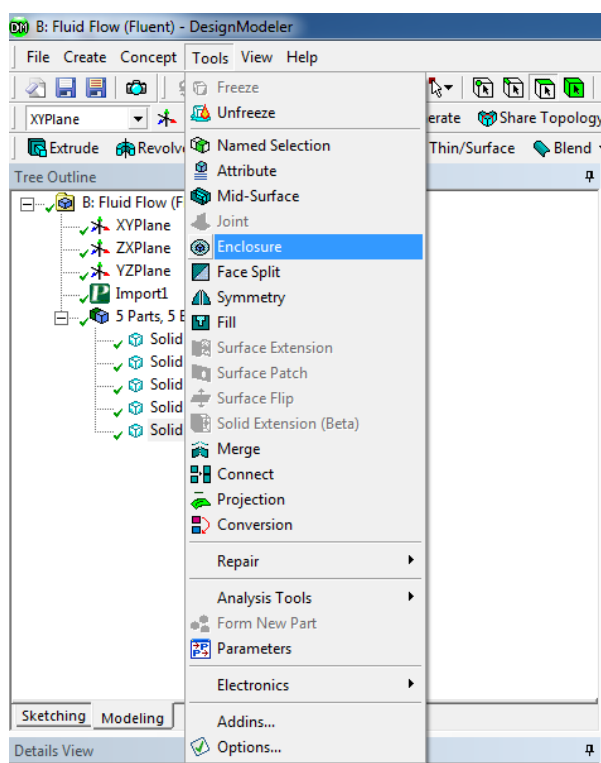


Рисунок 1.7 – Операция вычитания объемов

Далее в появившемся окне “*Details View*” (рисунок 1.8) необходимо указать параметры вычитания объемов. В строке “*Enclosure*” указывается имя операции, которое впоследствии будет отображаться в древе модели. В строке “*Shape*” нужно выбрать пункт “*User Defined*”. В строке “*User Defined Body*” указывается объем, из которого будут вычтены другие элементы. В строке “*Target Bodies*” необходимо выбрать пункт “*Selected Bodies*” и указать объем резистора и платы. Если в строке “*Target Bodies*” выбрать пункт “*All Bodies*”, то из объема, указанного в строке “*User Defined Body*”, будут вычтены все оставшиеся элементы.

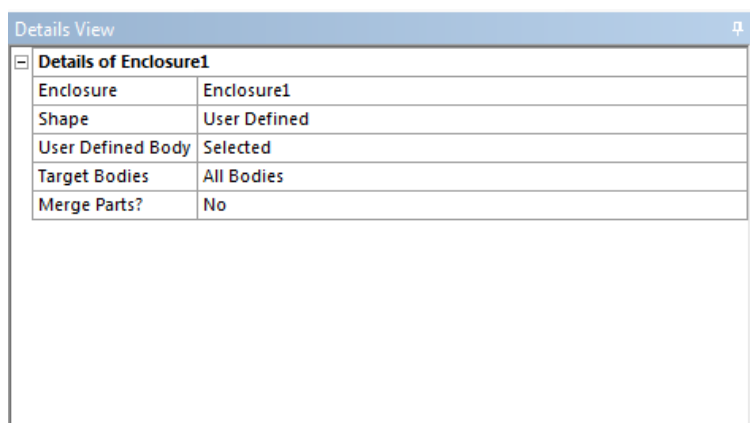


Рисунок 1.8 – Окно “*Details View*”

Для выполнения булевой операции нужно нажать правой кнопкой мыши на имя операции в древе модели и выбрать пункт “*Generate*”. Итог операции вычитания объемов показан на рисунке 1.9.

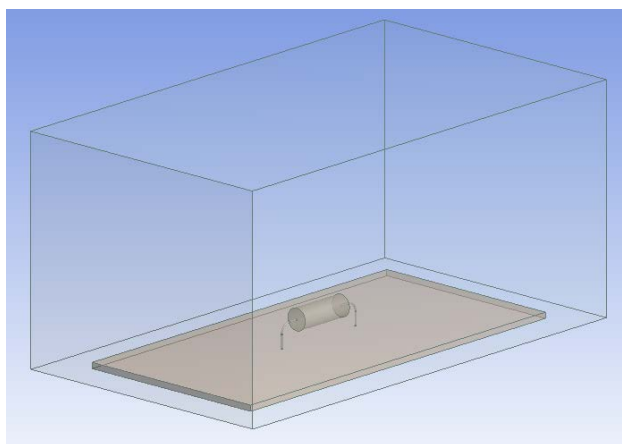


Рисунок 1.9 – Итог операции вычитания объемов

Прежде чем завершить работу с геометрической моделью необходимо отключить элемент, который использовался для формирования модели, но в расчете участвовать не будет.

Для отключения резистора нужно нажать правой кнопкой мыши на этот элемент в древе модели и выбрать пункт “*Suppress Body*” (рисунок 1.10).

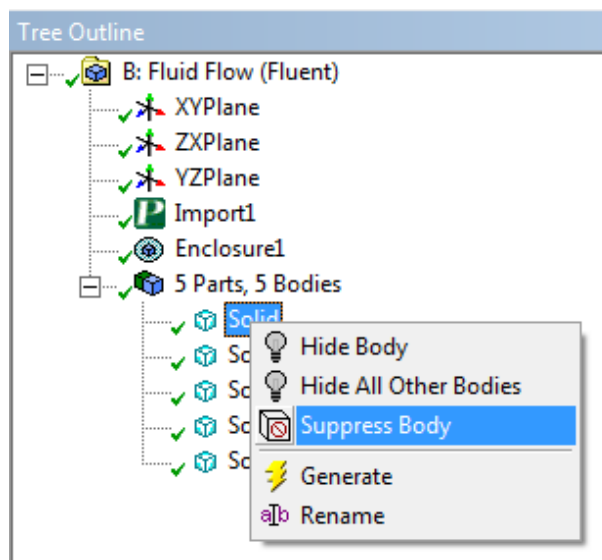


Рисунок 1.10 – Отключение элемента модели

На этом подготовка модели завершена и окно *Design Modeler* может быть закрыто.

1.2 Построение трехмерной сеточной модели расчетной области

Создание сеточной модели является неотъемлемой частью процесса компьютерного инженерного моделирования (CAE). Качество сетки влияет на точность, сходимость и скорость получения решения. Кроме того, время, необходимое для создания сетки, часто занимает значительную часть в общем времени выполнения компьютерного инженерного расчета. Поэтому качественные и более автоматизированные инструменты построения сетки такие как *Ansys ACEM CFD* и *Ansys Meshing*, дают лучший результат.

Запуск программы *Meshing* осуществляется командой “*Mesh*” в схеме проекта (рисунок 1.11).

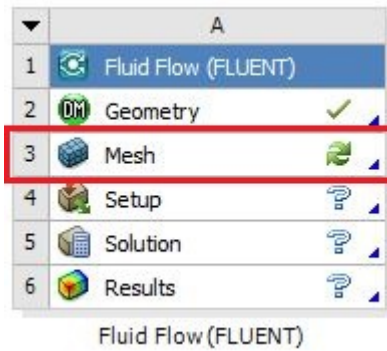


Рисунок 1.11 – Команда для запуска программы *Meshing*

Для задания параметров сетки в дереве проекта необходимо выбрать вкладку *Mesh*. Далее в окне *Details of "Mesh"* во вкладке *Sizing* необходимо выбрать алгоритм умельчения сетки (*"Use Advanced Size Function"*) *"On: Curvature"*, ввести значения максимального размера элемента *"Max Face Size"* и *"Max Size"* 5 мм и 7 мм соответственно и минимальный размер элемента *"Min Size"* 0,1 мм, как показано на рисунке 1.12.

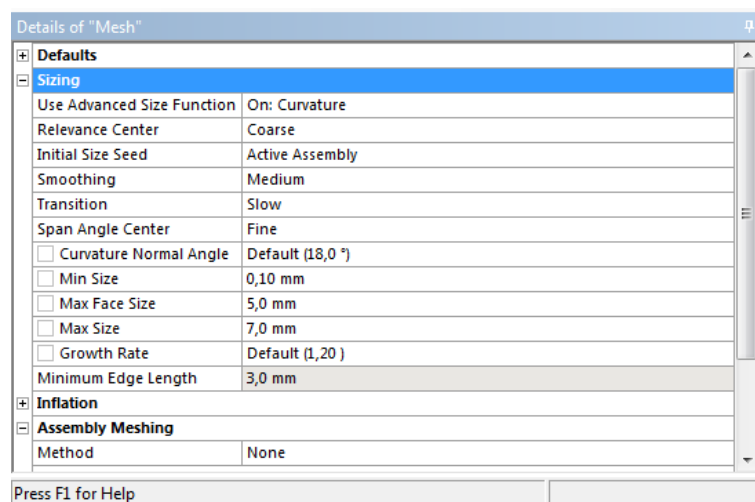


Рисунок 1.12 – Окно *"Details of "Mesh"*

Далее необходимо задать размеры элементов в объеме платы и выводов резистора. Для этого необходимо выбрать пункт *"Sizing"*, как показано на рисунке 1.13.

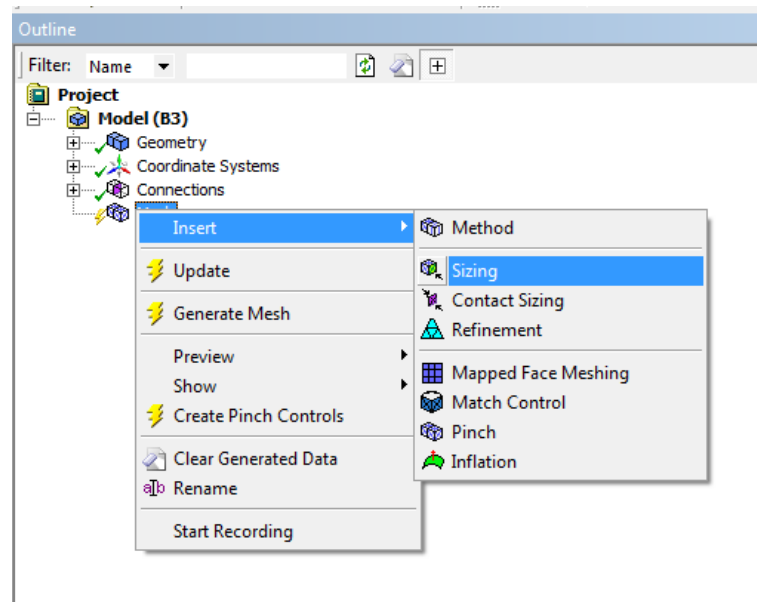


Рисунок 1.13 – Выбор меню размера элементов

В появившемся меню нужно выбрать геометрию, для этого необходимо в главном меню выбрать “*Body*” (рисунок 1.14) и выделить в модели выводы резистора, как показано на рисунке 1.15, затем нажать *Apply*. Ввести значения размера элемента 0,1 мм в “*Element Size*”. Аналогичным образом задать значение 1 мм для платы.



Рисунок 1.14 – Меню выбора элементов

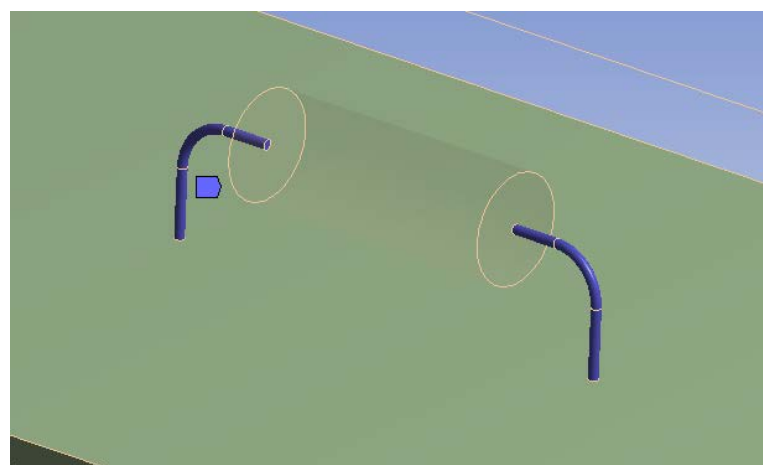


Рисунок 1.15 – Выбор выводов резистора

Для построения сетки необходимо нажать клавишу “*Generate Mesh*”.
Результаты построения сетки показан на рисунке 1.16.

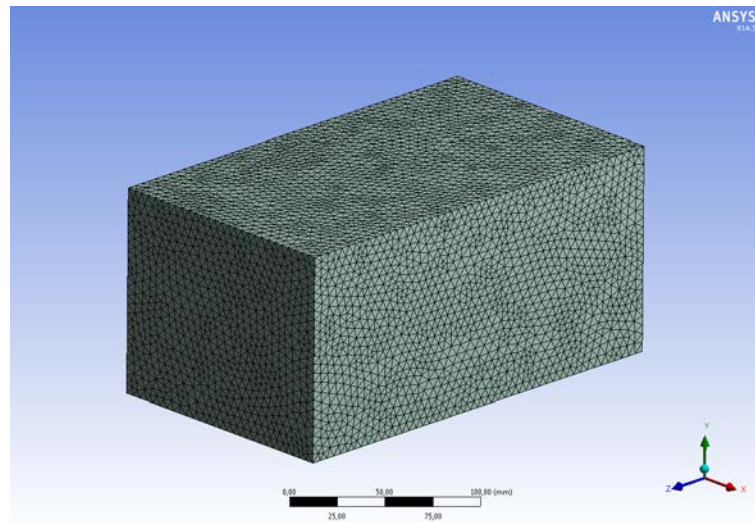


Рисунок 1.16 – Результат построения сетки

2 ЗАПУСК ПРОГРАММЫ FLUENT И ЕЕ ОСОБЕННОСТИ

Дальнейшие действия с расчетной моделью: задание граничных условий, настройка параметров решателя, решение и обработка результатов производится в программе *ANSYS Fluent*.

Запуск программы осуществляется с помощью команды “*Setup*” в схеме проекта “*Fluid Flow (FLUENT)*”. Перед открытием рабочего окна программы появится меню (рисунок 2.1).

Для уменьшения времени расчета рекомендуется использовать параллельный режим работы программы, для этого выбрать опцию *Parallel (Local Machine)* и ввести количество ядер процессора. После выбора нужно нажать кнопку *Ok*. Это действие вызовет появление рабочего окна программы *Fluent* (рисунок 2.2).

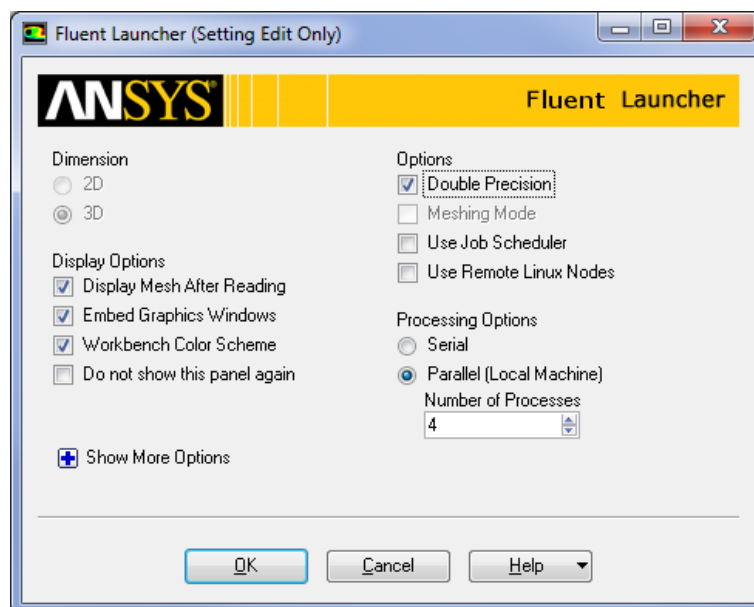


Рисунок 2.1 – Стартовое окно программы *Ansys Fluent*

Окно программы достаточно простое и состоит из трех основных элементов:

- *главного меню*, через которое осуществляется доступ ко всем командам и меню программы;
- *окна сообщений*, где находится командная строка и отображаются результаты выполнения команд;

– *графических окон*, в которых отображаются результаты расчета и построений. Число графических окон может быть любым, но удобнее использовать не более трех.

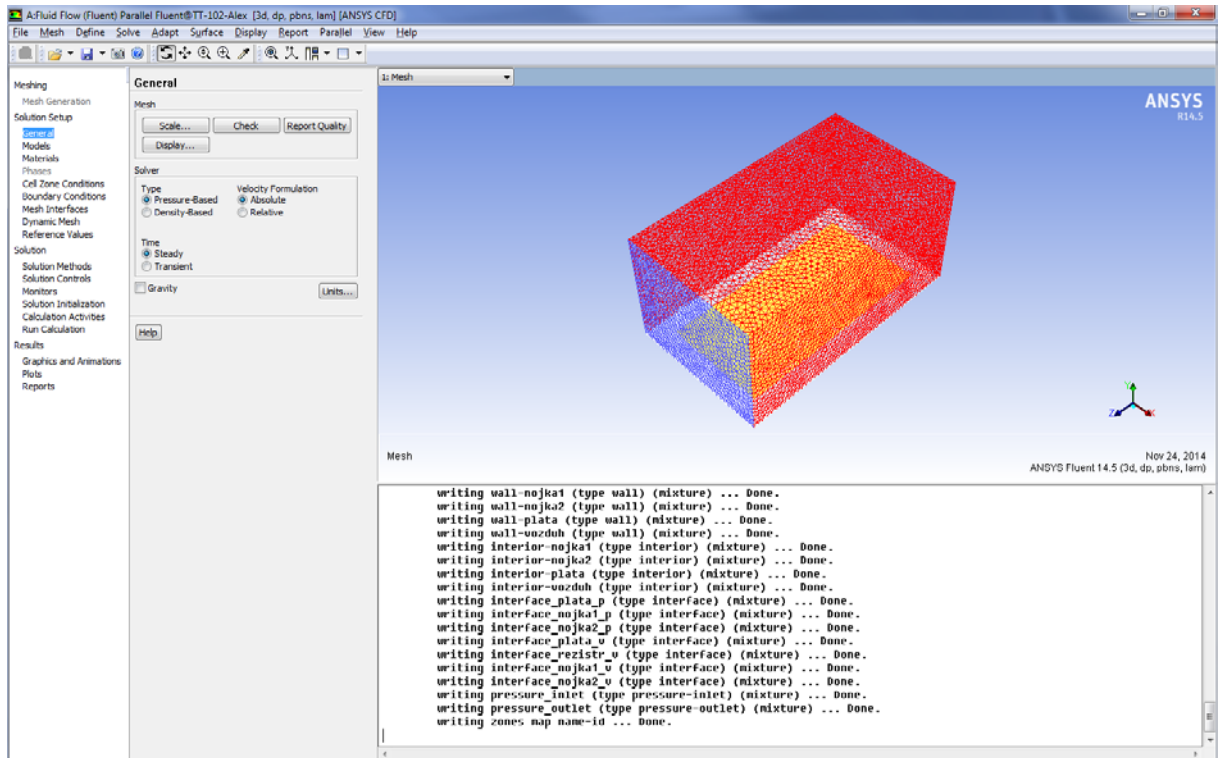


Рисунок 2.2- Окно программы *Fluent*

2.1 Проверка конечно-элементной сетки на наличие ошибок

Проверка расчетной сетки на наличие ошибок осуществляется с помощью команды:

ГМ: Mesh → Check.

После ее запуска программа начнет проверять конечно-элементную сетку, а в окне сообщения появятся полные сведения о конечно-элементной сетке. Если будет найдена ошибка, то будет выдано соответствующее сообщение. В этом случае необходимо вернуться в программу *Ansys Meshing*, найти ошибку и исправить ее.

2.2 Просмотр конечно-элементной сетки

Конечно-элементная сетка отображается автоматически в главном окне программы *Fluent*, для дополнительных опций просмотра можно вызвать меню *Mesh Display* (рисунок 2.3).

ГМ: *Display* → *Mesh*.

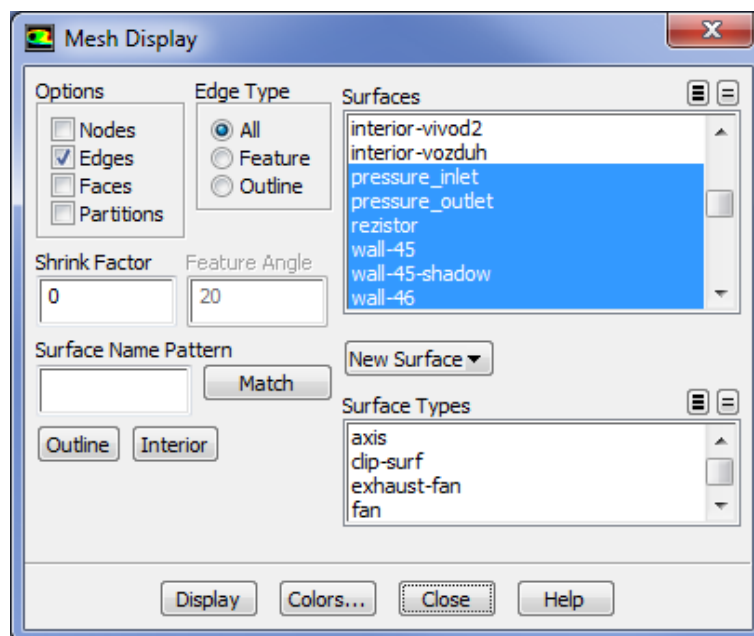


Рисунок 2.3 - Меню *Mesh Display*

Для того чтобы просмотреть конечно-элементную сетку нужно использовать мышь. Движение мыши с нажатой левой кнопкой вызывает сдвиг модели. Движение мыши с нажатой средней кнопкой вызывает появление рамки, с помощью которой можно приблизить (если рамку вытягивать слева направо) выделенный фрагмент модели или, наоборот, отдалить (если рамку вытягивать справа налево).

Если в окне *Surfaces* снять выделение с пункта *interior*, то в окне можно будет увидеть только контур модели.

2.3 Задание опций решателя

В качестве первого действия при описании расчетной модели следует выбрать решатель, с помощью которого будет проводиться расчет, а также

определить стационарность или нестационарность задачи. Этот выбор осуществляется с помощью команды *General: Define* → *General*.

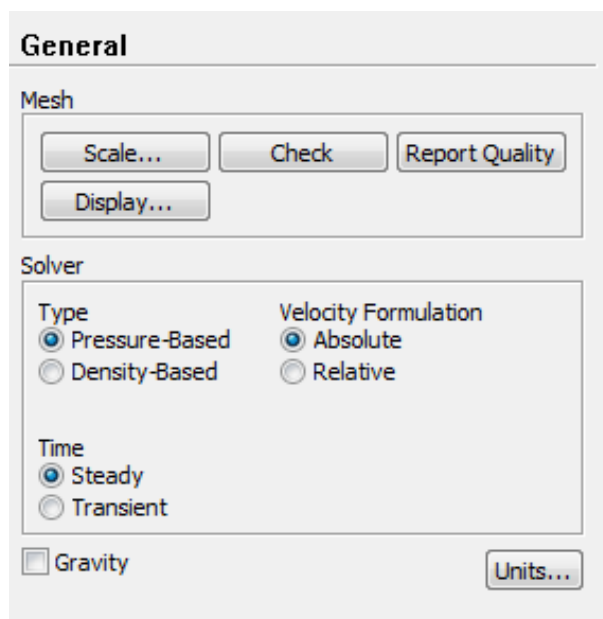


Рисунок 2.4 - Меню *General*

В меню *General* (рисунок 2.4) нужно обратить внимание на следующие пункты.

В поле *Solver* следует выбрать алгоритм решения. Программа *Fluent* позволяет использовать два алгоритма: *Pressure Based* (в российской литературе его называют алгоритмом установления) или *Density Based* (в российской литературе - алгоритм расщепления). Первый из них изначально разрабатывался для низкоскоростных потоков, но впоследствии был модифицирован и распространен и на другие течения. Алгоритм установления создавался для расчетов высокоскоростных транс- и сверхзвуковых потоков. Для решения рассматриваемой задачи целесообразно выбрать *Pressure Based*.

В поле *Time* описывается, будет ли решение стационарным *Steady* или нестационарная *Transient*. То есть будут ли параметры потока зависеть от времени или нет.

Рассматриваемая задача является стационарной (*Steady*).

2.4 Учет в расчете уравнения энергии

При решении данной задачи ненужно учитывать изменение температуры потока и тепловые явления (теплообмен и теплопередачу). Для этого необходимо отключить от решения уравнение энергии с помощью команды:

ГМ: Define → Models → Energy.

В появившемся окне нужно снять галочку в строке *Energy Equation* (рисунок 2.5) и нажать *OK*.

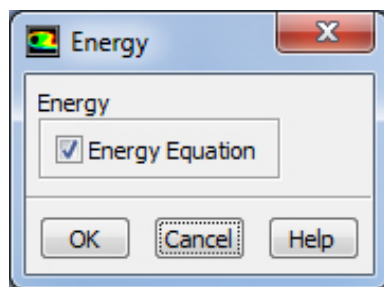


Рисунок 2.5 – Меню включения уравнения энергии (*Energy*)

2.5 Определение модели течения

Для обеспечения высокой точности расчетов необходимо выбрать соответствующую для данной задачи модель течения. Учитывая особенности задачи, необходимо использовать *Laminar* модель течения (рисунок 2.6). Которая задается с помощью команды: *Define → Models → Viscous*. В появившемся списке моделей нужно выбрать модель *Laminar* и нажать *OK*.

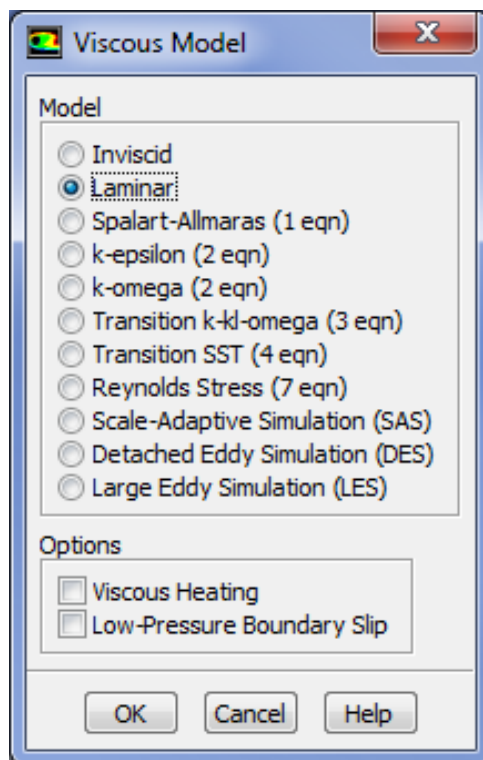


Рисунок 2.6 – Меню выбора модели течения (*Viscous Model*)

2.6 Задание свойств материалов

Задание свойств материалов осуществляется в меню *Materials* (рисунок 2.7), которое вызывается командой:

ГМ: Define → Materials.

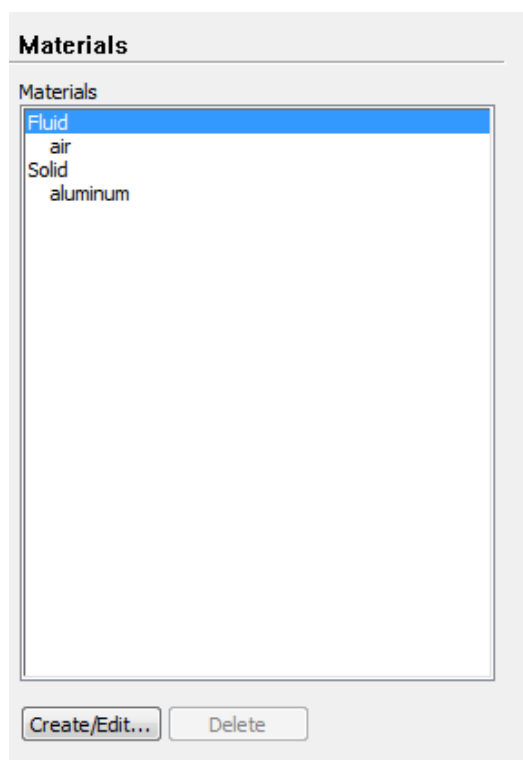


Рисунок 2.7 – Меню задания материалов (*Materials*)

В рассматриваемой задаче будут заданы три материала: воздух, алюминий и текстолит.

Воздух установлен в программе *Ansys Fluent* по умолчанию. При решении задач обязательно нужно учитывать сжимаемость рабочего тела. Поэтому следует задать зависимость плотности газа от параметров потока. Чаще всего для этого пользуются уравнением состояния идеального газа (Менделеева – Клайперона).

Для того, чтобы осуществить эту установку в меню *Materials* необходимо открыть свойства воздуха, нажав двойным кликом на *Air*. В появившемся меню *Create/Edit Materials* в списке *Density* нужно выбрать пункт *Ideal-gas* (рисунок 2.8).

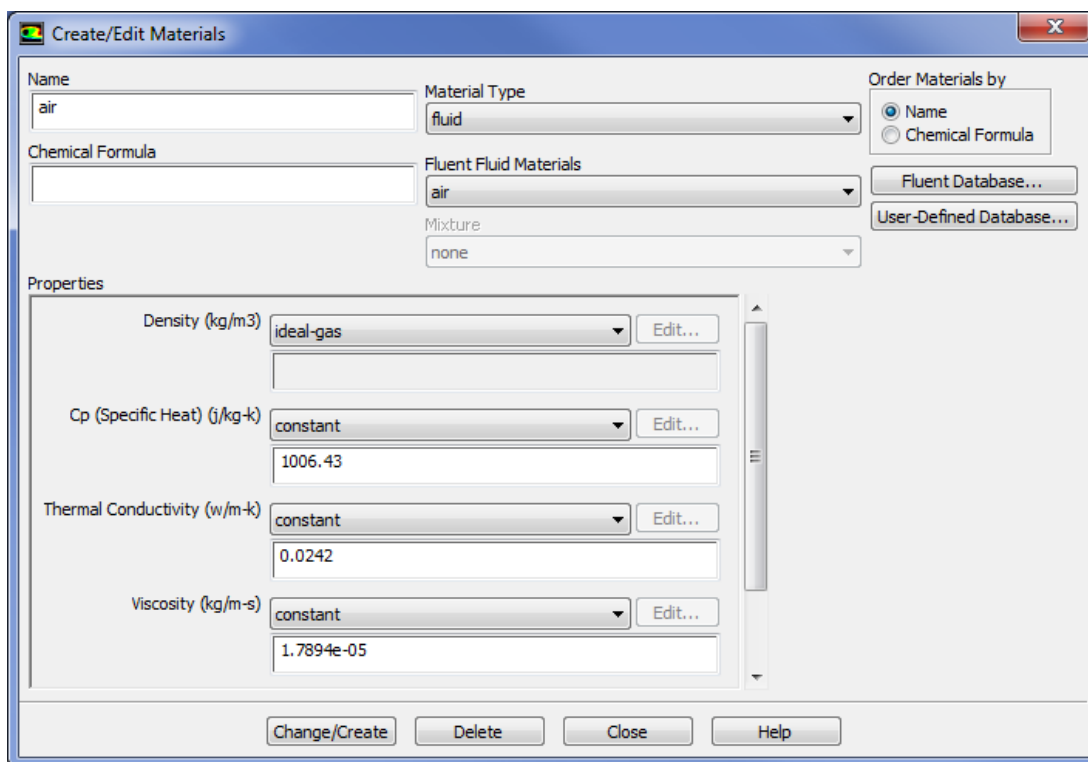


Рисунок 2.8 – Меню *Create/Edit Materials*

Для сохранения изменения свойств рабочего тела необходимо нажать кнопку *Change/Create*. После завершения операции меню необходимо закрыть с помощью кнопки *Close*.

Для задания материала платы необходимо добавить новый материал. Для этого необходимо в меню *Materials* свойства твердых тел (*Solid*), нажав двойным кликом на *Solid*. В появившемся меню *Create/Edit Materials* нужно выбрать вкладку *Fluent Database...* Так как в *Ansys Fluent* не заложены свойства текстолита, то сначала необходимо добавить любой материал. Для этого в появившемся меню *Fluent Database Materials* во вкладке *Fluent Solid Materials* необходимо его выбрать, например дерево *wood*, нажать *Copy* и *Close*.

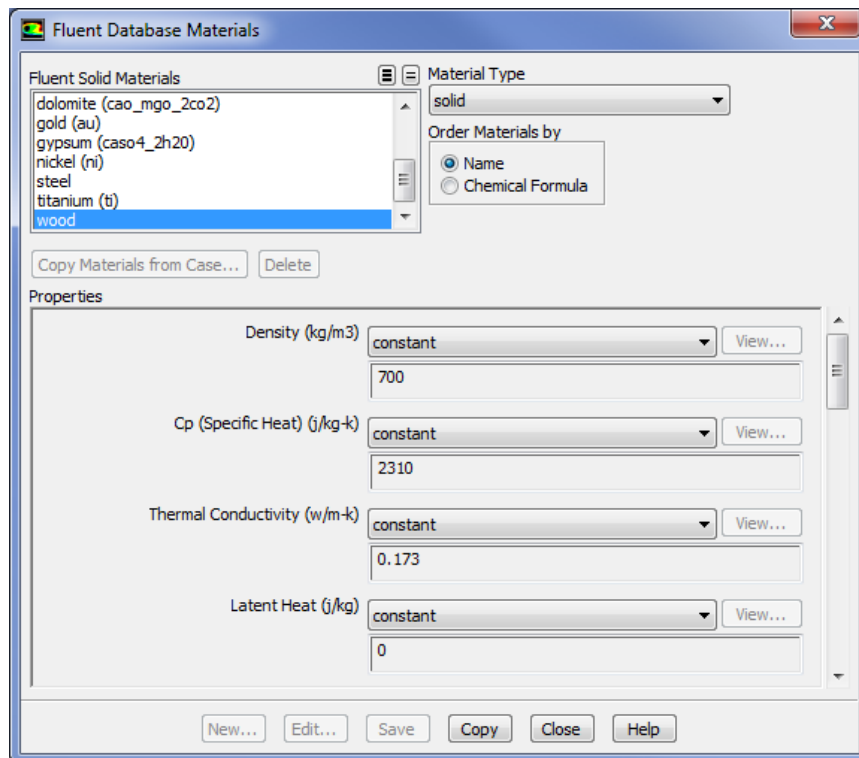


Рисунок 2.9 – Меню *Fluent Database Materials*

Теперь вернувшись в меню *Create/Edit Materials* можно будет задать нужные свойства текстолита. Для этого в окне *Name* ввести *textolite*, в *Density* (kg/m^3) (плотность) - 1380, *Cp* (*Specific Heat*)($j/kg \cdot K$) (удельная теплоемкость) - 1470, *Thermal Conductivity* ($w/m \cdot K$) (теплопроводность) – 0.244, как показано на рисунке 2.10. Для сохранения изменения свойств рабочего тела необходимо нажать кнопку *Change/Create*. После завершения операции меню необходимо закрыть с помощью кнопки *Close*.

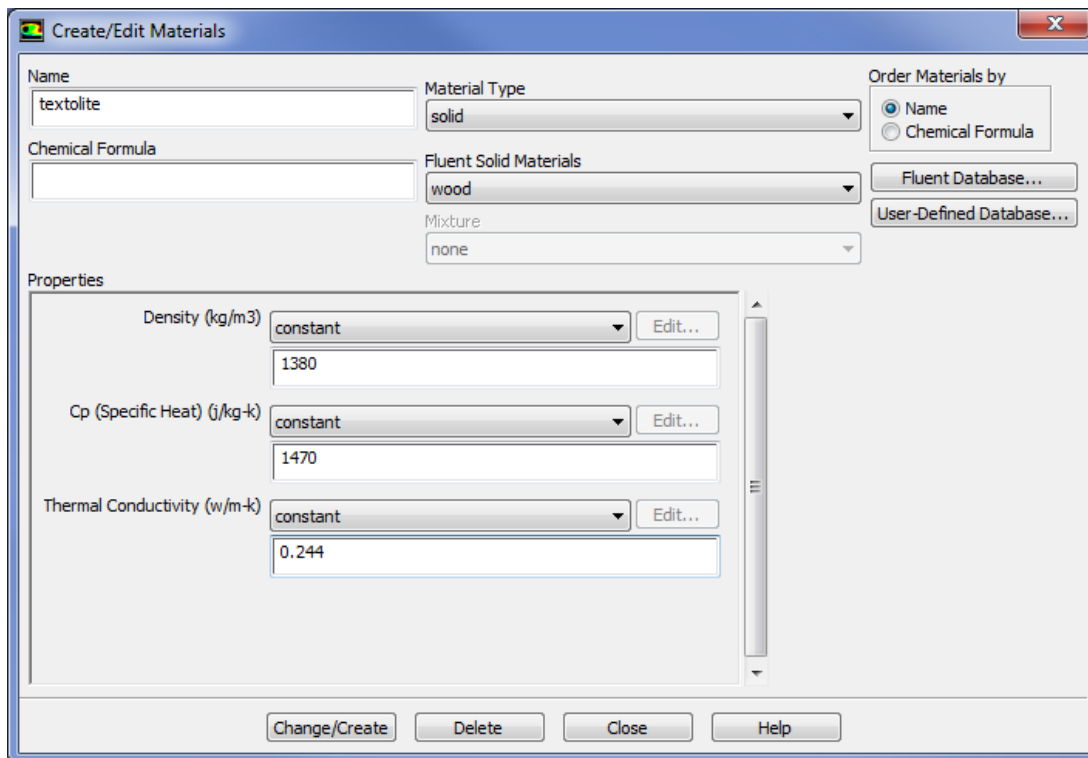


Рисунок 2.10 – Меню *Create/Edit Materials*

2.7 Задание справочного давления и силы тяжести

Особенность программы *Fluent* состоит в том, что давление, получаемое и задаваемое в расчете, является избыточным. То есть для того, чтобы получить истинное значение давления, необходимо прибавить к нему так называемое «справочное давление». По умолчанию в его качестве используется атмосферное давление в САУ – 101325Па . Изменить значение «справочного давления» можно в меню, которое появится в результате выполнения команды ГМ: *Define* → *Operating Condition* (рисунок 2.11).

Для учета силы тяжести необходимо поставить галочку перед *Gravity* и ввести значение ускорения свободного падения (9.81 м/с^2) по необходимой оси, в рассматриваемом случае по оси *y* в отрицательном направлении (поэтому значение вводится с минусом).

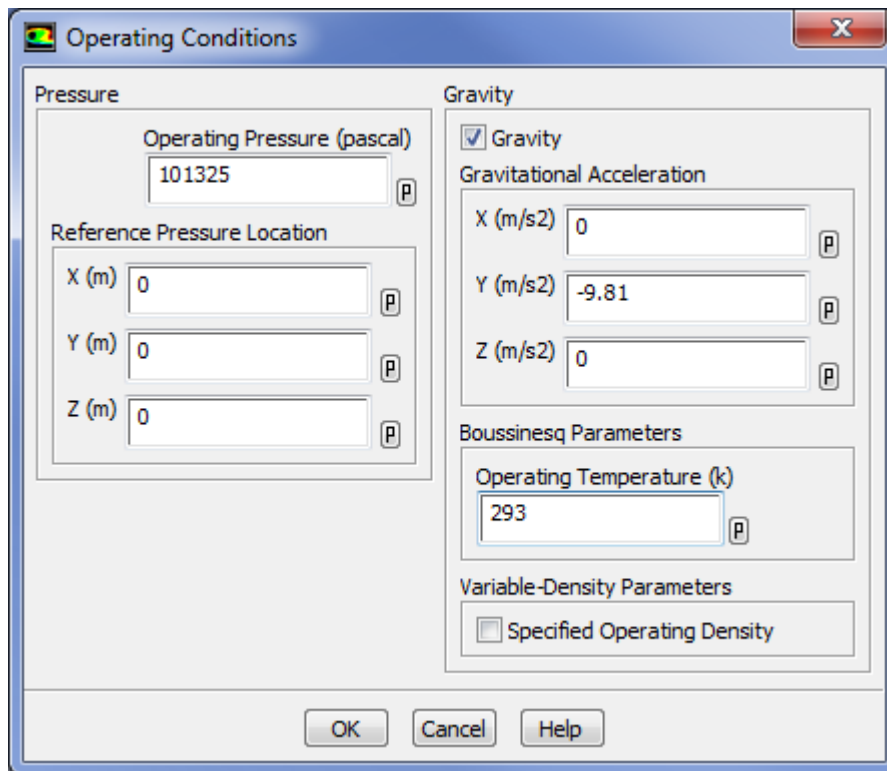


Рисунок 2.11 – Меню *Operating Condition*

2.8 Задание граничных зон

Для задания граничных зон (рисунок 2.12) необходимо вызывать команду *ГМ: Define → Cell Zone Condition*.

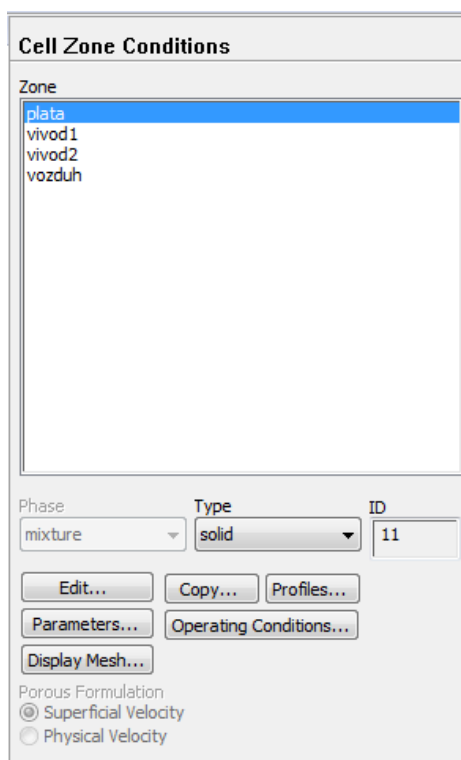


Рисунок 2.12 – Меню настройки зон *Cell Zone Condition*

Далее необходимо нажать кнопку *Edit...* и в появившемся окне выбрать нужный материал. Для платы необходимо выбрать *Material Name* текстолит (*textolite*) (рисунок 2.13). Аналогично для выводов резистора необходимо выбрать материал алюминий (*Aluminum*) и для воздуха соответственно воздух (*air*).

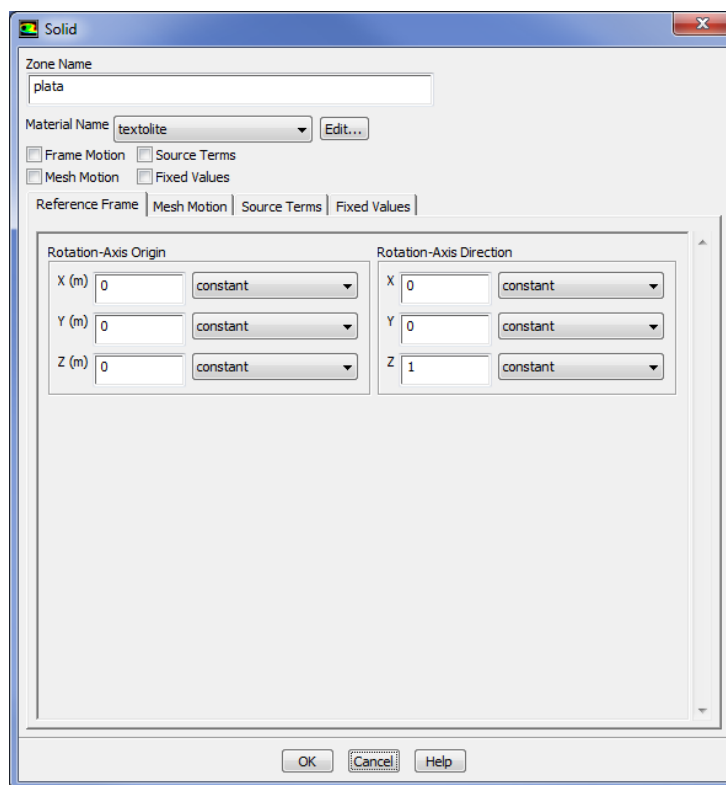


Рисунок 2.13 – Меню выбора материалов

2.9 Задание граничных условий

Меню задания граничных условий (рисунок 2.14) вызывается командой:

ГМ: Define → Boundary Condition.

В поле *Zone* находится список всех граничных условий, определенных в *Meshing*. Если выбрать имя одного из них, например *pressure_inlet*, то в окне *Type* будет указан тип граничного условия. В случае необходимости в этом окне тип граничных условий можно поменять.

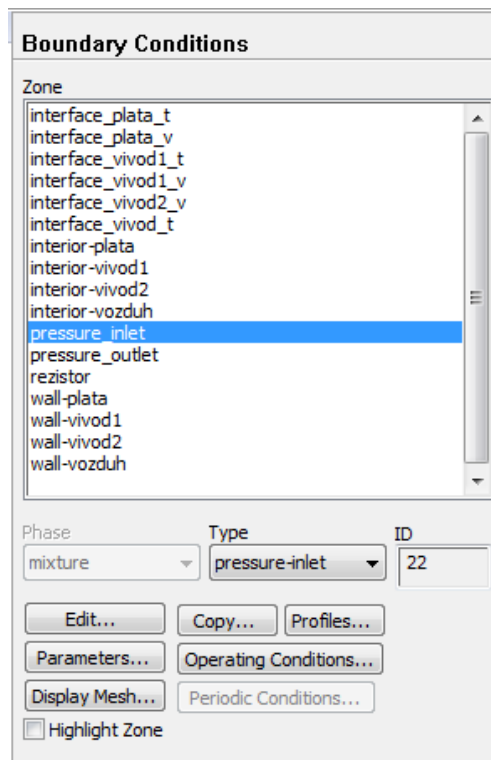


Рисунок 2.14 - Меню *Boundary Condition*

Чтобы приступить к заданию граничных условий, необходимо в окне *Zone* выбрать нужное граничное условие, убедиться, что в окне *Type* тип граничного условия указан верно, и нажать *Edit....* В рассматриваемой задаче будут заданы следующие условия:

- на входной границе задается статическое давление p_1 , равное атмосферному $p_1^* = 0 \text{ Па}$ и температура $T_1 = 293$;

Входное граничное условие задается в следующей последовательности. В поле *Gauge Total Pressure* и *Supersonic Gauge Pressure* вводится значение полного давления на входе в расчетную область равно 0 Па (рисунок 2.15).

В поле *Direction Specification Method* определяется направление вектора скорости на входной границе. Чтобы указать направление вектора по направляющим косинусам, в списке нужно выбрать пункт *Direction Vector* (направляющий вектор). В рассматриваемом случае выбирается нормально к входной границе *Normal to Boundary* в поле *Direction Specification Method*.

Для задания полной температуры потока на входе нужно в верхней части меню нажать на вкладку *Thermal*, а в ставшем доступном поле *Total*

Temperature ввести значение температуры. Для рассматриваемой задачи нормальные атмосферные условия $T_0^* = 293K$.

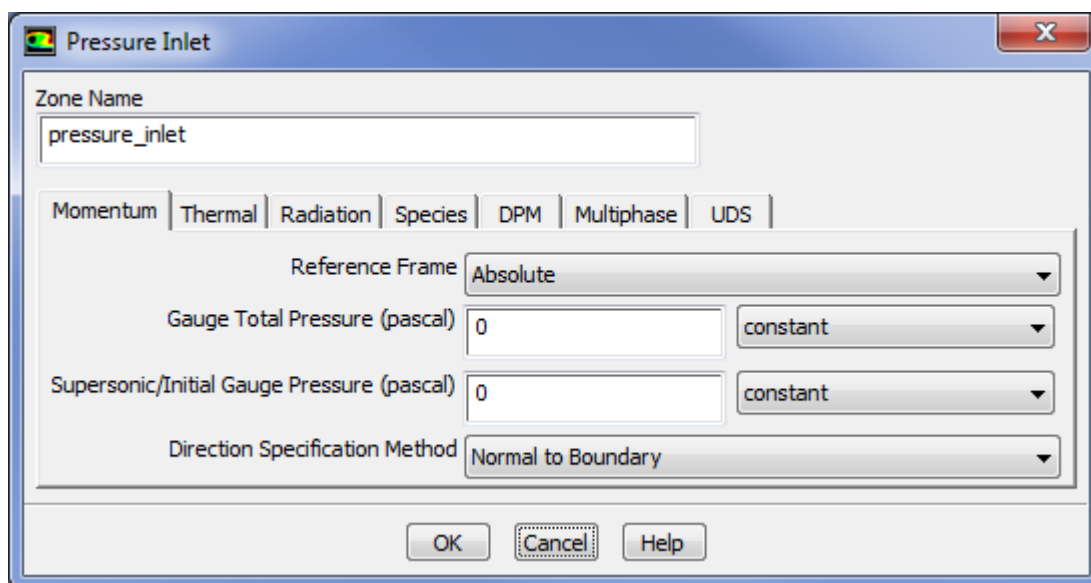


Рисунок 2.15 - Меню *Pressure inlet*

Для задания граничного условия на выходной границе в меню *Boundary Condition* нужно выбрать имя данной границы и нажать кнопку *Edit....* Это вызовет появление меню *Pressure_outlet* (рисунок 2.16).

– на выходной границе задается полное давление p_0^* и температура T_0^* воздуха. Полное давление на выходной границе (*Gauge Pressure*), так же равно $p_0^* = 0 \text{ Па}$. Температура воздуха принимается равной атмосферной $T_0^* = 293K$.

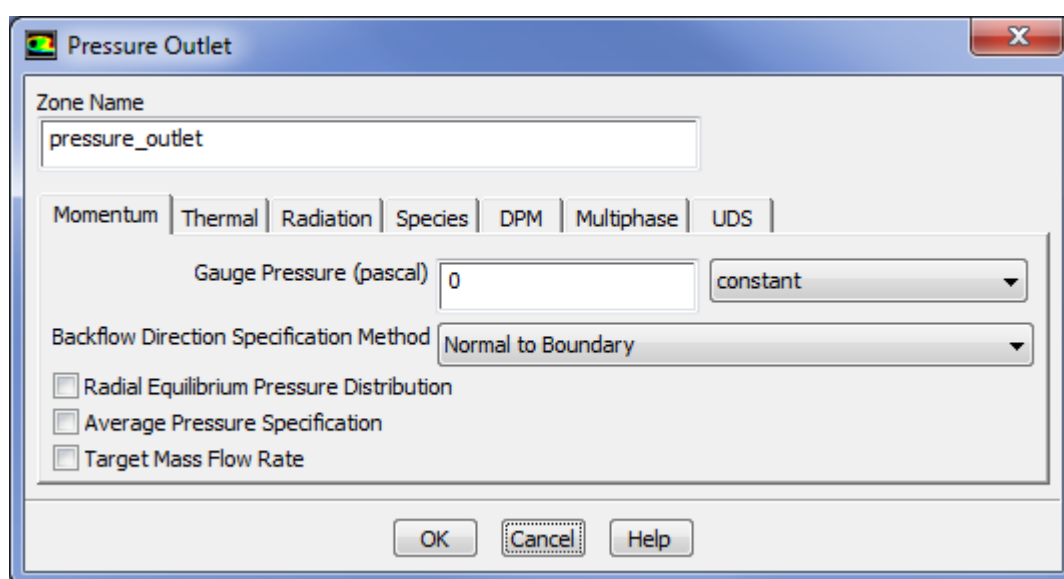


Рисунок 2.16 - Меню *Pressure Outlet*

Для задания теплового потока от поверхности резистора необходимо в меню *Boundary Condition* выбрать имя данной границы (*resistor*) и нажать кнопку *Edit...* В появившемся меню во вкладке *Thermal* нужно задать плотность теплового потока в окне *Heat Flux (w/m²)* равную 408 Вт/м². Это значение найдено из отношения теплового потока 0,5 Вт к площади поверхности резистора 0,001226 м².

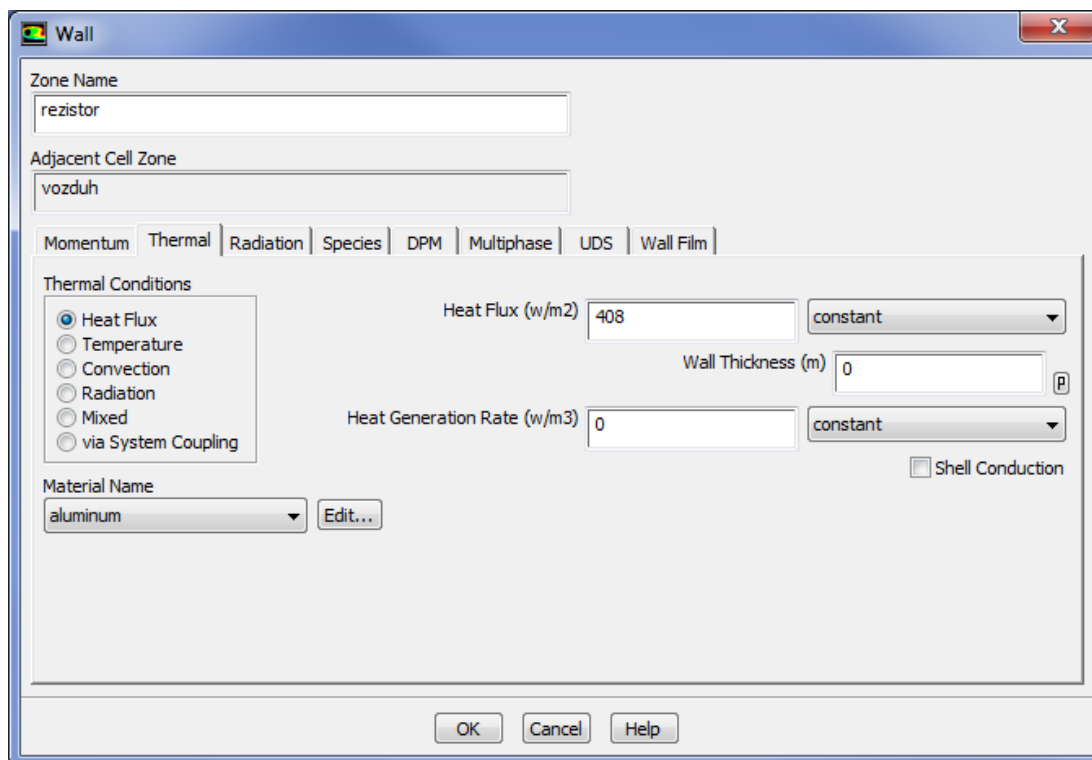


Рисунок 2.17 - Меню задания теплового потока от поверхности резистора

2.10 Настройка зон пересечения сетки

Данная настройка необходима для получения взаимодействия между расчетными зонами (рисунок 2.18).

Define → *Mesh Interfaces* → *Create/Edit...*

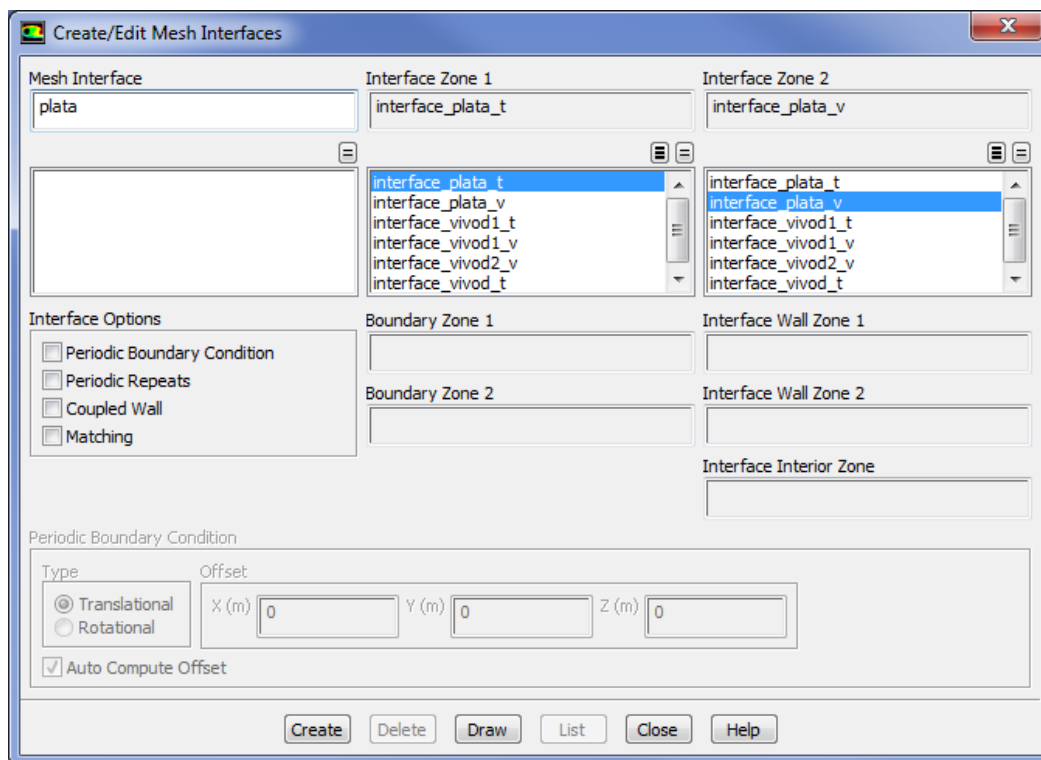


Рисунок 2.18 – Меню задания проницаемости между зонами (*Create/Edit Mesh Interfaces*)

Для этого в данном меню следует выполнить следующую последовательность действий:

1. В списке *Interface Zone 1* выбирается строка *interface_plata_t*.
2. В списке *Interface Zone 2* выбирается строка *interface_plata_v*.
3. В строке *Mesh Interface* вводится *plata*.
4. Затем следует нажать клавишу *Create*.
5. Аналогичным образом задается проницаемость между зонами, указанными в таблице:

<i>Interface Zone 1</i>	<i>Interface Zone 2</i>	<i>Mesh Interface</i>
<i>interface_vivod1_t</i>	<i>interface_vivod1_v</i>	<i>vivod1</i>
<i>interface_vivod2_t</i>	<i>interface_vivod2_v</i>	<i>vivod2</i>

6. Закройте окно *Create/Edit Mesh Interfaces*.

2.11 Установка начальных значений параметров

При решении задач газовой динамики численными методами перед запуском решения необходимо установить начальные значения параметров в

расчетной области. Правильный выбор этих параметров может существенно улучшить устойчивость и сходимость, чем ускорить получение решения. Меню установки начальных условий (рисунок 2.19) вызывается командой:

ГМ: Solve → Initialization.

В этом меню в поле *Compute From* необходимо выбрать все зоны (*all-zones*). В результате рекомендуемые значения начальных параметров будут рассчитаны по входным граничным условиям. Так же необходимо ввести начальное значение скорости по оси *y* равное *0,0001м/с*. Для их принятия следует нажать *Initilize*.

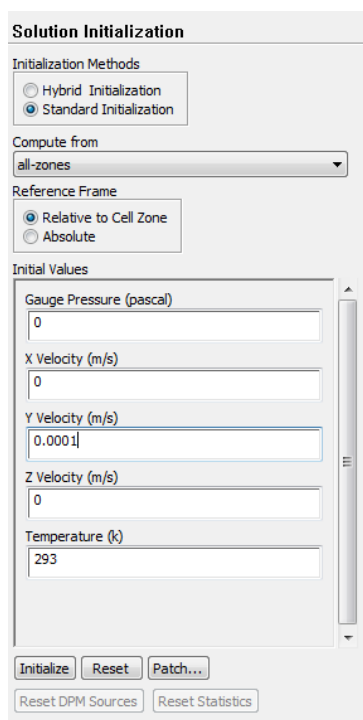


Рисунок 2.19-Меню установки начальных значений параметров

2.12 Настройка отображения процесса решения

Уравнения Навье-Стокса решаются численным методом. Этот метод заключается в следующем. Расчетная область делится на большое количество конечных элементов. Дифференциальное уравнение в области произвольного узла сетки заменяется алгебраическим уравнением-аналогом, описывающим изменение переменной между несколькими соседними точками. Решение аналога осуществляется итерационным методом. После каждой итерации

находятся некоторые значения переменных. Они подставляются в исходные уравнения, выраженные в виде $f(p, T, \rho, x, y, z, v, w \dots) = 0$. Поскольку решение является приближенным (т.к. решается алгебраический аналог, а не дифференциальное уравнение), то $f(p, T, \rho, x, y, z, v, w \dots) = R$. Величина R называется невязкой и является критерием, по которому судят о процессе решения. Очевидно, что чем ближе R к нулю, тем ближе найденное решение дискретного аналога к решению исходного дифференциального уравнения. В случае если невязка R окажется меньше заданного предела, решение считается законченным. Разработчики программы утверждают, что решение можно считать законченным, если $R = 1 \cdot 10^{-3}$.

Решение можно считать законченным, если:

1. Разность расходов рабочего тела между входной и выходной границей стремится к нулю и мало меняется от итерации к итерации.
2. Невязки по всем уравнениям в процессе решения достигают значения меньше рекомендуемого предела ($1 \cdot 10^{-3}$).

Однако в ряде случаев требуемых невязок не удается достичь или невязки достигли заданного предела, а разность расходов рабочего тела между входом и выходом составляет значительную величину (более 1% от расхода).

В этом случае в качестве второго критерия сходимости следует принять неизменность невязок от итерации к итерации. Это говорит о том, что достигнута предельная точность расчета и снижения невязок можно добиться только изменением конечно-элементной сетки.

Для того, чтобы отображать невязки в процессе расчета, а также задать критерий остановки решения, необходимо вызвать меню *Residual Monitors* (рисунок 2.20) с помощью команды:

GM: Solve → Monitors → Residual.

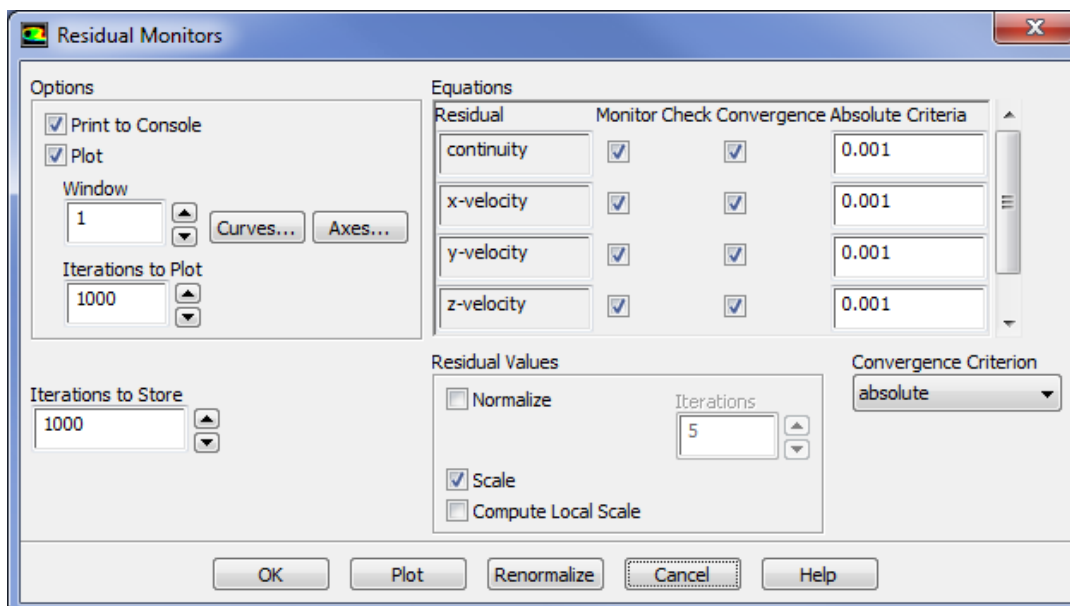


Рисунок 2.20-Меню Residual Monitors

В поле *Option* необходимо поставить галочки напротив слов *Plot* и *Print*. Это приведет к тому, что невязки по всем уравнениям будут печататься в окне сообщения (*Print*) и отображаться в виде графиков в графическом окне (*Plot*).

В полях *Residual* друг над другом перечислены все решаемые уравнения, а напротив каждого из них в столбце *Convergence Criterion* установлены предельные невязки. Задача считается решенной, когда невязки по всем уравнениям окажутся меньше заданных значений. В этом случае процесс вычисления будет автоматически остановлен. Считается, что для получения точного решения достаточно достижения невязок 10^{-3} по всем уравнениям.

2.13 Сохранение расчетной модели

Для сохранения расчетной модели и всех сделанных настроек решателя необходимо вызвать команду:

ГМ: File → Write → Case.

В появившемся окне проводника необходимо выбрать место, где будет сохранена модель и ее имя. После нажатия кнопки *OK* в указанном месте появится файл модели с расширением **.cas*.

2.14 Запуск решения

Для запуска решения нужно выбрать команду:

ГМ: Solve → *Run Calculation*.

Появится окно, показанное на рисунке 2.21.

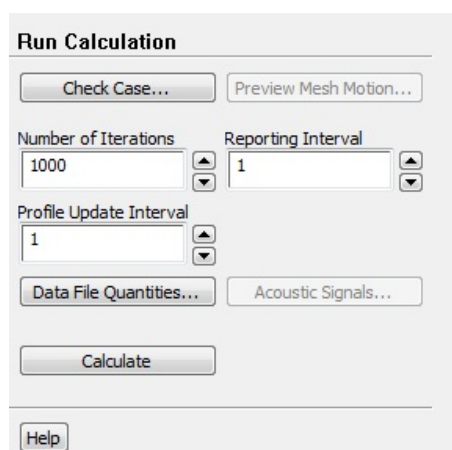


Рисунок 2.21 - Меню запуска решения

Для запуска решения в поле *Number of Iteration* нужно ввести число итераций (например, 1000) и нажать кнопку *Calculate*. Число итераций можно назначить произвольно. Оно, как правило, исчисляется сотнями.

Если условие сходимости будет достигнуто, то процесс счета остановится сам. Если заданного числа итераций будет недостаточно для получения решения, то процесс решения можно продолжить.

Решение может быть остановлено в любой момент нажатием на кнопку *Cancel* и вновь запущено с места остановки нажатием кнопки *Calculate* в меню запуска решения. В ходе паузы могут быть просмотрены предварительные результаты решения, внесены изменения в граничные условия или настройки решателя.

После запуска решения в графическом окне появится зависимость невязок от номера итерации для каждого уравнения (рисунок 2.22). Обратите внимание, что для каждого уравнения значения невязок различны. Как видно из рисунка 2.22, для задачи примерно на 130 итераций значения невязок по каждому из

уравнений достигли заданных величин. В этом случае программа *Fluent* остановит решение и в окне сообщений выдаст сообщение *solution is converged*. То есть можно считать, что решение получено.

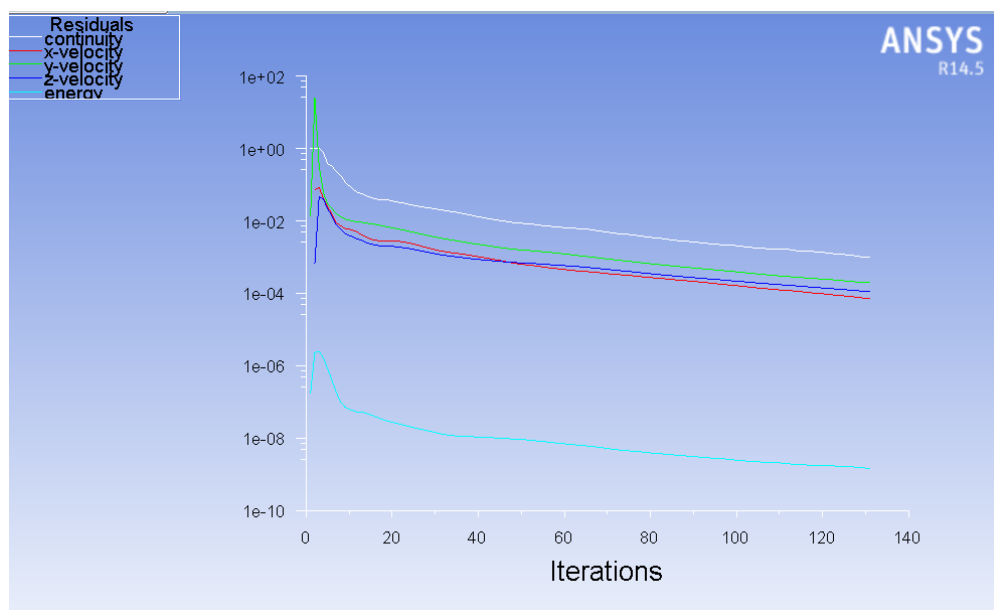


Рисунок 2.22 - Изменение невязок по итерациям

2.15 Создание поверхностей сечений расчетной модели

Для создания поверхности сечения необходимо запустить команду:

FM: Display → *Surface* → *Iso-Surface...*

В *Surface of Constant* нужно выбрать *Mesh...*, *X-Coordinate*. Так как модель симметричная, то поверхности будет расположена по середине, то есть в *Iso-Values* необходимо оставить значение 0. В *New Surface Name* вводится название сечение, например $x=0$ (рисунок 2.23). Для завершения команды создания поверхности необходимо нажать *Create*.

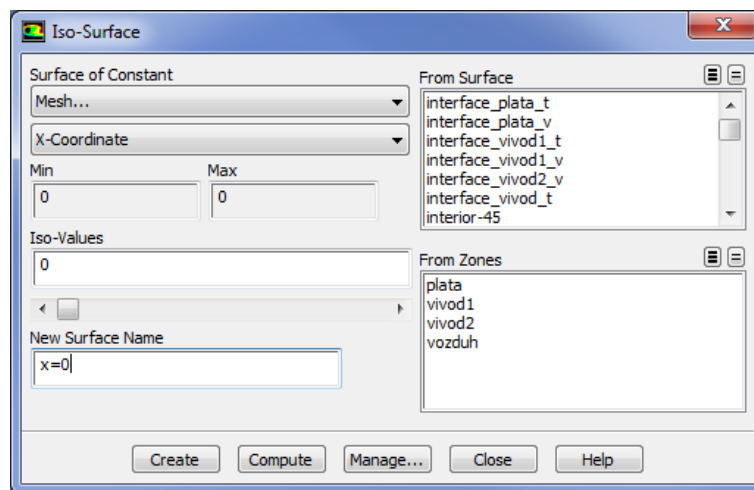


Рисунок 2.23 – Меню создания поверхностей (*Iso-Surface*)

2.16 Визуализация полей распределения параметров в расчетной области

Для просмотра полей распределения параметров необходимо запустить команду:

GM: Display → Graphics and animation → Contours.

В результате ее выполнения появится меню *Contours* (рисунок 2.24). Чтобы распределение параметров отображалось в виде полей, необходимо в окошке *Filled* поставить галочку. В противном случае распределения параметров будут изображаться в виде изолиний.

Параметр, изменение которого требуется отобразить, выбирается в поле *Contours of*. Оно состоит из двух выпадающих списков (рисунок 2.24). В верхнем из них выбирается группа, к которой принадлежит нужный параметр (например, температура). В нижнем списке уточняется, какой именно параметр группы требуется определить (например, полная температура). Это типовая и часто используемая процедура выбора отображаемого параметра в программе *Ansys Fluent*.

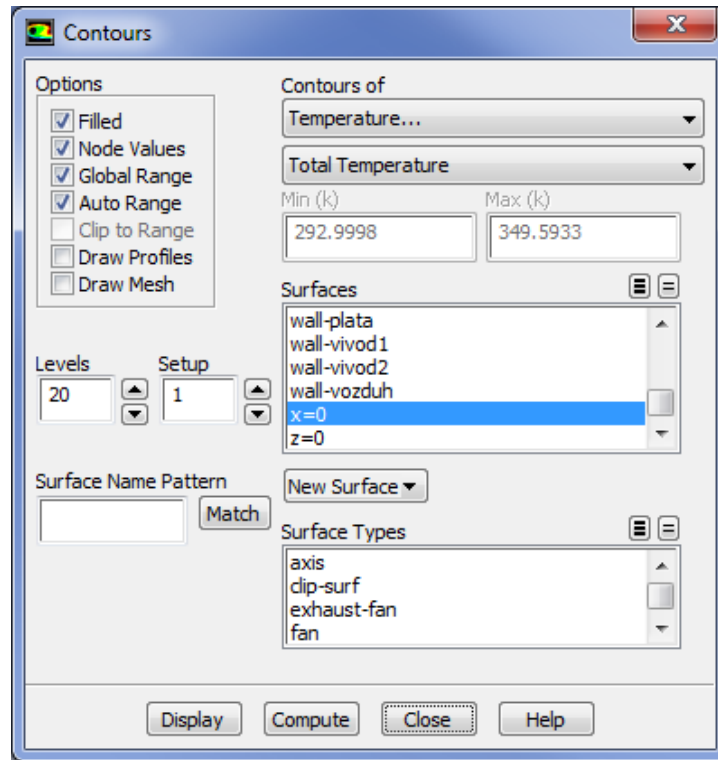
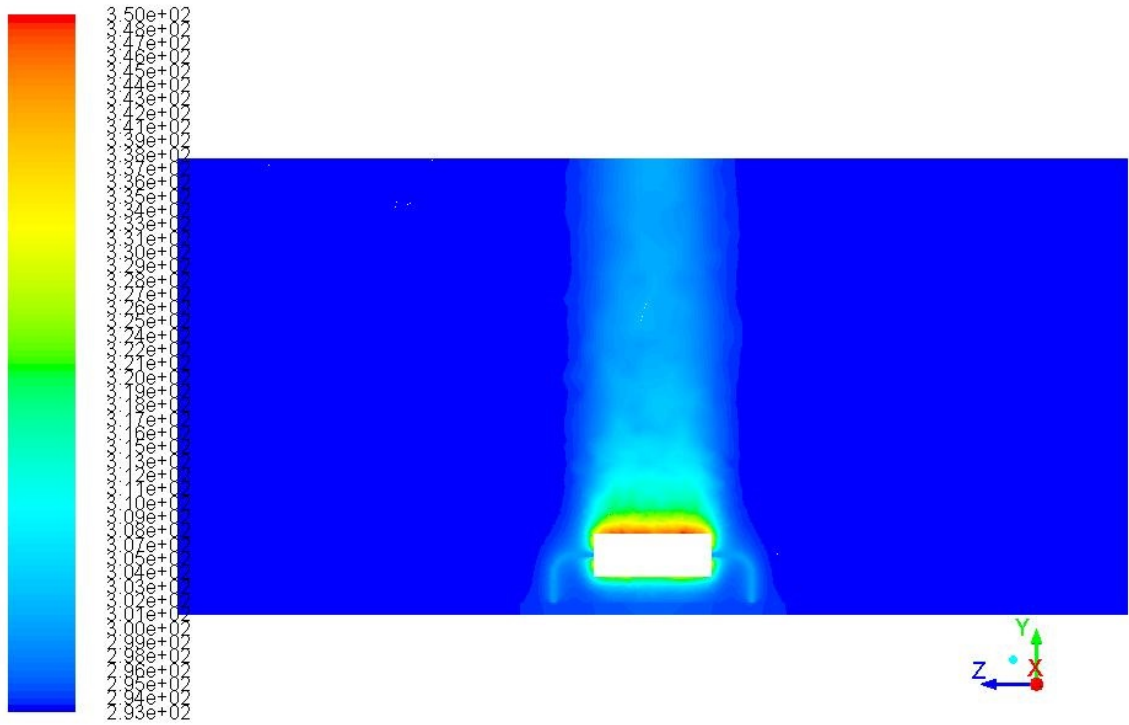


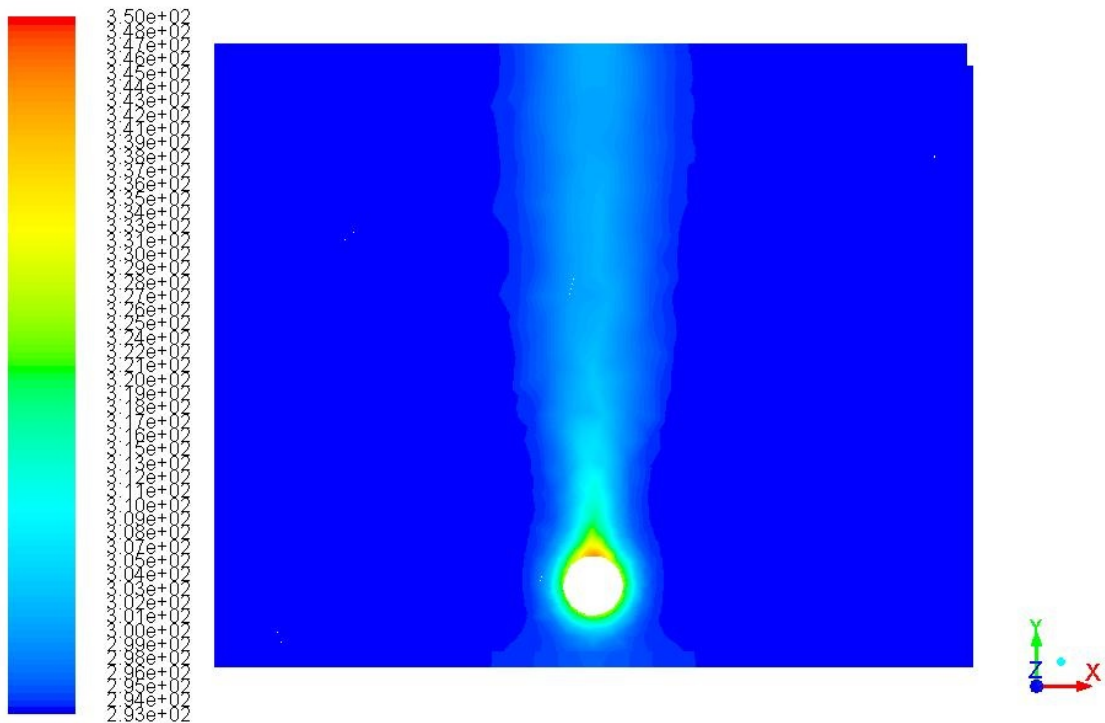
Рисунок 2.24-Меню *Contours*

В поле *Surfaces* задаются поверхности, на которых строятся поля распределений параметров. В данном случае поочередно выбираются созданные ранее сечения $x=0$ и $z=0$. Результат отображения полей распределения температур в продольном и поперечном сечении резистора представлены на рисунках 2.25 и 2.26 соответственно.



Contours of Total Temperature (k) ANSYS Fluent 14.5 (3d, dp, pbns, lam)

Рисунок 2.25 – Поле полной температуры в продольном сечении



Contours of Total Temperature (k) ANSYS Fluent 14.5 (3d, dp, pbns, lam)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполненной работы можно сделать следующие выводы:

1. Применение CAD/CAE – технологий позволяет провести моделирование процесса конвективного теплообмена в радиоэлектронной аппаратуре.
2. Высокая информативность результатов численного моделирования способствует более глубокому анализу процессов, происходящих при исследовании теплового режима радиоэлектронного устройства.
3. Моделирование газодинамических и тепловых процессов позволяет с достаточной для практики точностью получить распределения основных термодинамических параметров.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Батури́н О.В. Расчет течений жидкостей и газов с помощью универсального программного комплекса. Часть 2. Построение расчетных моделей в препроцессоре Gambite/ О.В. Батури́н, И.И. Морозов, В.Н. Матвеев – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2008. - 125с.
2. Батури́н О.В. Расчет течений жидкостей и газов с помощью универсального программного комплекса. Часть 3. Работа в программе Fluent/ О.В. Батури́н, И.И. Морозов, В.Н. Матвеев – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2008. - 115с.
3. Использование программного пакета FLUENT для решения задач по газодинамике [Электронный ресурс] : электрон. метод. указания к лаб. работам / Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т); сост. В. В. Бирюк, А. А. Горшкалев, Д. А. Угланов; - Электрон. текстовые и граф. дан. (8,65 Мбайт). - Самара, 2012.